

УДК 628.093.621.398

І. Г. Абраменко, канд. техн. наук,
В. Ф. Рой, докт. техн. наук
 Харківська національна академія
 міського господарства

Н. Г. Бурма, канд. фіз.-мат. наук
 Фізико-технічний інститут низьких
 температур ім. Б. І. Веркіна

ПРОБЛЕМИ ВИБУХОБЕЗПЕЧНОСТІ ЕЛЕКТРИЧНИХ КІЛ ОСВІТЛЮВАЛЬНИХ УСТАНОВОК

Забезпечення вибухо- і пожежобезпечності освітлювальних установок (ОУ) є однієї з найбільш актуальних проблем при розробці систем освітлення промислових приміщень, технологічний процес в яких пов'язаний з використанням або переробкою речовин, що легко спалахують при певних умовах. Це, насамперед, підприємства газової, вугільної, хімічної, деревообробної, текстильної промисловості, де існує потенційна небезпека виникнення пожежі або вибуху.

Основним фактором, який сприяє розвитку процесу запалення вибухонебезпечного середовища, є запалююча спроможність електричної іскри, яка може виникнути при комутації електричної мережі, що містить реактивні параметри - ємність та індуктивність. Завдяки складності фізичній природи іскрового розряду і самого процесу запалення, визначення критеріїв іскробезпечності електричних кіл ОУ є досить складною задачею. На даний час експериментально встановлено, що запалююча спроможність електричних іскор при комутації електричних мереж ОУ, що містять реактивні елементи, залежить від величини діючої напруги, робочого струму, індуктивності і ємності електричного ланцюга, які врешті решт визначають запалюючу енергію електричного іскрового розряду. Величина енергії W , що виділяється в технологічному середовищі за період протікання розряду може бути записана у вигляді:

$$W = \int_0^{t_1} u \cdot i \, dt, \quad (1)$$

тут t_1 -тривалість горіння розряду, u – миттєва величина напруги на іскровому проміжку в момент розмикання електричного ланцюга:

$$u = U - L(di/dt) - i \cdot R, \quad (2)$$

де i – миттєвий струм іскри, U – напруга на іскровому проміжку, L і R – параметри електричного ланцюга. Величина струму в розряді визначається:

$$i = I + (di/dt) \cdot t \quad (3)$$

Тоді енергія, що розсіюється в процесі розряду дорівнює [1]:

$$W = \frac{L \cdot I^2}{2} - \frac{L \cdot I_1^2}{2} + \frac{(I - I_1) \cdot (U + 2 \cdot I_1 \cdot R) \cdot t_1}{6}, \quad (4)$$

тут I_1 – струм, при якому активна стадія розряду припиняється.

Перші два члени в формулі (4) визначають енергію, яка надійшла в розряд з індуктивності електричного ланцюга, а третій – енергію, що надійшла від джерела струму. Оцінки показують, що доля енергії від перших двох членів складає приблизно $1/3$ від загальної енергії $(LI^2)/2$, а частина енергії від джерела струму визначається індуктивністю електричного ланцюга. Для визначення максимальної величини енергії W в іскровому розряді необхідно знайти максимум виразу (4) відносно величини I_1 при заданих параметрах електричного ланцюга: L, R, U, I, t_1 :

$$I_1 = \frac{t_1}{6 \cdot (L/R) + 4 \cdot t_1} - I = n \cdot I \quad (5)$$

Тут $n = \frac{1}{6 \cdot \left(\frac{t}{t_1}\right) + 4}$; $t = L/R$ – постійна часу.

З врахуванням (4) максимум енергії розсіяної в розряді дорівнює:

$$W_m = \frac{(1-n)^2}{12n} P \cdot t_{1m}, \quad (6)$$

де P – потужність в ланцюзі, t_{1m} – максимальна тривалість іскрового розряду. Звідки, експериментально визначивши величину мінімального струму спалаху I_{min} , можна знайти мінімальну енергію запалення W_{min} , яка по даним багатьох досліджень з врахуванням імовірнісного характеру процесу запалення, визначена як 1,07 мДж [2, 3].

Задачею даного дослідження було визначення впливу основних параметрів електричного кола і джерела живлення на рівень вибухобезпечності ОУ для конкретних умов експлуатації. З виразу (5) і (6), видно, що запалююча спроможність іскор, які виникають при комутації електричних кіл ОУ, що містять реактивні елементи, тим більша, чим більші напруга джерела живлення U , робочий струм I , індуктивність L , тривалість дугової стадії розряду t , які в сукупності і визначають його енергію. Оскільки струм і напруга живлення визначаються параметрами конкретного джерела світла ОУ, варто провести дослідження впливу на величину енергії розряду такого незалежного параметра, як тривалість дугової стадії іскрового розряду t , що входить в вираз (6) у вигляді множника. Зменшення величини t можна здійснювати за рахунок збільшення частоти живлячої напруги, оскільки перехід напруги через «нуль» супроводжується погасанням іскрового розряду і зменшенням тривалості його горіння. Експериментально встановлено, що величина мінімального запалюючого струму I_m метано-повітряної суміші на частоті живлячої напруги 40 кГц для безреактивного кола на порядок більша за величину запалюючого струму на промисловій частоті 50 Гц (1,6 А проти 0,16 А) або на постійному струмі [3]. Це може бути пояснено тим фактом, що тривалість чверті періоду напруги живлення підвищеною частотою 40 кГц складає ~ 4 мкс, що в 20 разів менше, ніж на промисловій частоті 50 Гц і, виходячи з припущення, що на високій частоті розряд гасне після декількох переходів напруги через «нуль», то тенденція збільшення величини мінімального запалюючого струму чітко проявляється. На підвищеній частоті також пропорційно зменшується імовірність співпадіння максимуму струму спалаху I_m в момент комутації електричного кола. Внаслідок того, що швидкість зростання напруги на іскровому проміжку в момент переходу струму через «0» пропорційна частоті живлення:

$$dU/dt = 2\pi \cdot f \cdot U_m, \quad (7)$$

де U_m, f – напруга і частота джерела живлення, то імовірність появи іскрового розряду в момент $t = 0$ визначається величиною dU/dt і відношенням термінів іонізації і деіонізації носіїв в плазмі газового розряду. Швидкість зростання напруги dU/dt збільшується із збільшенням частоти f живлячої напруги і при деякому її значенні перевищить зростання електричної міцності розрядного проміжку. При цьому тривалість дугової стадії іскрового розряду перевищить величину напівперіоду напруги живлення, що призведе до зменшення його запальної спроможності. Із збільшенням частоти живлення f величина мінімального запального струму I_m зростає до тих пір, поки співвідношення між постійною часу електричного кола: $\tau = L/R$ і періодом напруги живлення T не досягне величини, при якій енергія, що накопичується в індуктивності електричного кола в момент його комутації, зможе компенсувати переходи струму через «0». При цьому кожній частоті напруги живлення відповідає характерна для даного електричного кола величина індуктивності L , перевищення якої призведе до поновлення спроможності спалаху на рівні постійного струму. Для кожного значення індуктивності електричної мережі існує частота, яка відповідає максимальному струму спалаху, величина якого зростає при зменшенні L .

Отримані експериментальні дані свідчать, що для реалізації режиму вибухобезпечної роботи ОУ з ЛЛ найбільш придатним є робочий діапазон 20-40 кГц, оскільки подальше підвищення частоти призводить до зниження іскробезпечності електричних кіл без суттєвого збільшення світловіддачі [4].

При роботі на підвищених частотах ЛЛ можна вважати «чисто активним» елементом електричного ланцюга, що має опір R_L , і визначається відношенням номінальної напруги розряду U_p до номінального струму I_p :

$R(f) = U_p(f)/I_p$. Імпеданс електричного ланцюга системи без врахування активних втрат в баласті дорівнює:

$$Z = \sqrt{X_L + R_L} = \sqrt{\omega L^2 + R_L^2} = \sqrt{(2\pi \cdot f \cdot L_1)^2 + R_L^2} \quad (8)$$

Визначивши частоту живлення f з вимог вибухобезпечності, визначимо номінальну величину індуктивності ланцюгу L для даного джерела світла. Вихідними даними для визначення оптимальної величини L є графіки залежності струму спалаху від частоти живлення [2], (рис.15) по осям яких відкладено частоту напруги живлення і струм в електричному ланцюгу, який призводить до спалаху вибухонебезпечної суміші з імовірністю 10^3 . Умови вибухобезпечності електричних кіл ОУ виконуються в тому випадку, коли напруга запалення U_z , яка складає зазвичай величину $1,8U_n$, не перевищує допустимої межі в момент комутації електричного ланцюга величини струму спалаху. Тому всі значення на графіку, що знаходяться вище кривої струму спалаху I_c при заданій частоті живлення f відповідають допустимим величинам напруги запалення ЛЛ і індуктивності електричного кола, що забезпечують її вибухобезпечність. Визначивши таким чином значення параметрів L і f , можна знайти і величину допустимої напруги U в електричному ланцюгу. З врахуванням прийнятих припущень, величина допустимої напруги дорівнює:

$$U_c = \sqrt{UL_2 + (2\pi \cdot f \cdot L_1)^2}, \quad (9)$$

а величина струму:

$$I_c \sim U_c / 2\pi f L. \quad (10)$$

Отриманий на основі експериментальних даних аналітичний вираз дає змогу визначити ділянку безпечних параметрів основних елементів електричного ланцюга для метано-повітряної суміші:

$$I(L, U, f) = \frac{11,5 \cdot \left[1 + \frac{0,5 \cdot (L - 0,3)^2}{(L + 0,3)} \right]}{(L \cdot U)^{0,85}} \cdot 10^{0,95(5 - \log(f))}, \quad (11)$$

де L – в мГн, U – в В, f – в Гц, I – в А, ($I=10\dots1000$; $f_i = I \cdot 10^3$).

На рис.1 наведені графічні залежності безпечних параметрів електричного кола: індуктивності, частоти та напруги живлення ОУ для даного технологічного середовища, що дозволило розробити декілька варіантів джерела живлення с іскробезпечними виходами для групи ЛЛ [5].

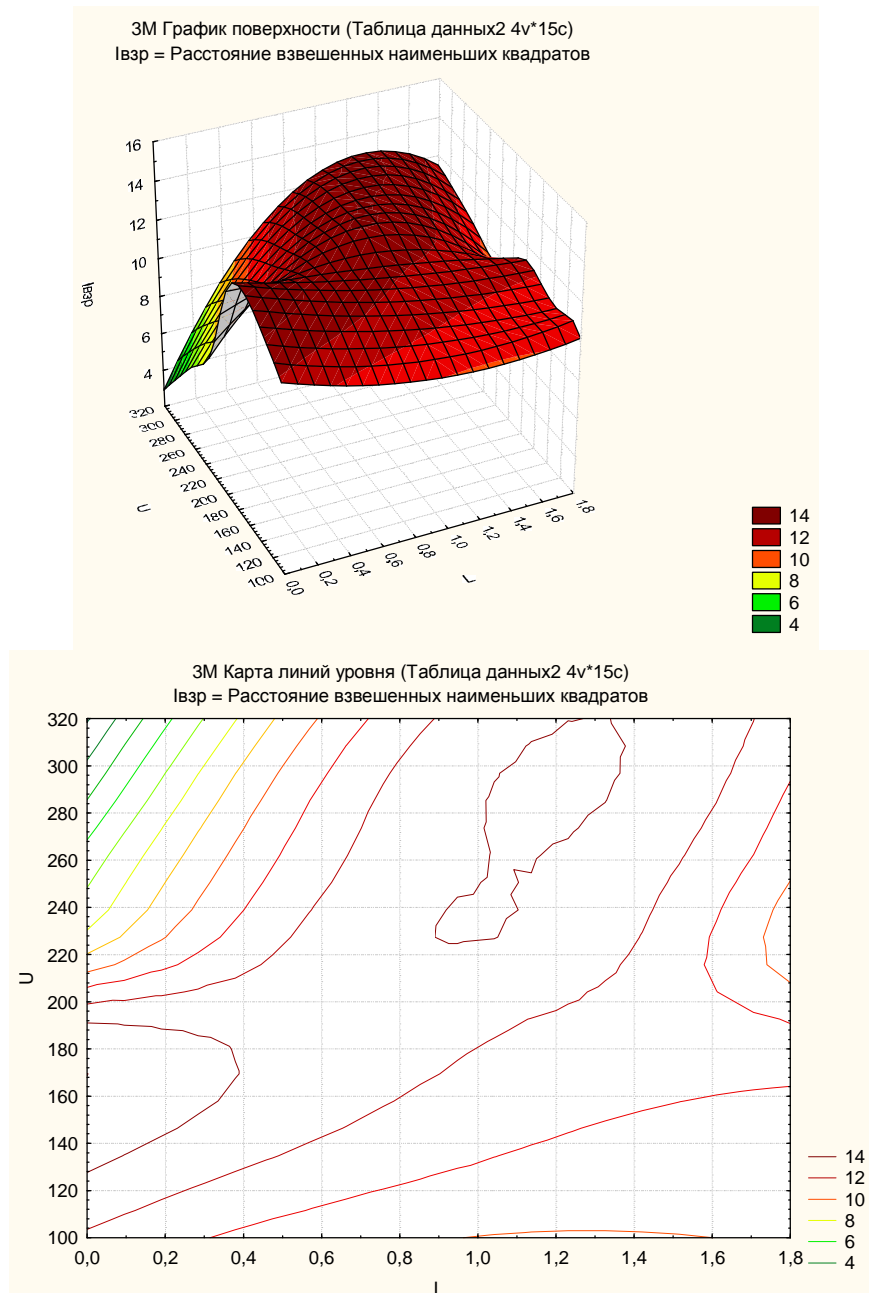


Рис.1 - Залежність величини мінімального запалюючого струму (I) від частоти (f), індуктивності (L) і робочої напруги (U) електричного кола ОУ для технологічного середовища -метано-повітряної суміші.

Література

1. Гаряжа А.В., Рой В.Ф. Параметры взрывобезопасности сетей промышленных электроосветительных установок.// Вестник Харьковского государственного политехнического университета (ХПИ).-2000.-Вып.119.-С.52-54.
2. Электрооборудование взрывозащищённое с видом взрывозащиты «Искробезопасная электрическая цепь»// М.-ГОСТ 22782.5-78.-70 с.
3. Рой В.Ф. та ін. Забезпечення вибухобезпечності освітлювальних установок. Матеріали 111 міжнародної конференції «Сучасні проблеми світлотехніки».-Харків.-2009.- С.56-59.
- 4 .Рой В.Ф. і ін. Групповое джерело живлення з іскробезпечними виходами. Патент України № 43401, Бюл. № 15, 10.08.2009.
5. Рой В.Ф. і ін. Вибухобезпечна освітлювальна установка. Патент України № 53422, Бюл.№ 19. 11.10.2010.

**ПРОБЛЕМЫ ВЗРЫВОБЕЗОПАСНОСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ
ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК**

И. Г. Абраменко, В. Ф. Рой, Н. Г. Бурма

Исследуются параметры электрических цепей осветительных установок с целью обеспечения пожарной и взрывобезопасности их работы в условиях потенциально опасной технологической среды.

**PROBLEMS OF EXPLOSION-PROTECTED OF ELECTRIC CIRCLES
OF LIGHTING OPTIONS**

I. G. Abramenko, V. F. Roj, N. G. Burma

The parameters of electric circles of lighting options with the purpose of providing of fire- and explosion-protected of their work in the conditions of potentially dangerous technological environment are explored.